ESTADO DEL ARTE

El análisis del estado del arte que se realizará en el siguiente proyecto se desarrollará a base de 3 fuentes bibliográficas siendo así, libros, revistas, tesis y artículos científicos. La primera parte se hará una breve explicación de los métodos existentes

ANALISIS ESTRUCTURAL

IDENTIFICACIÓN

HIBBELER, R. C. (2012). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL* (8ª ed.). México, México: Pearson, pp.539-552.

OBJETIVO

Se explicarán los fundamentos básicos del uso del método de rigidez para el análisis de estructuras.

MÉTODOS MATRICIALES

El autor señala que existen dos formas para analizar las estructuras utilizando métodos matriciales. El método de rigidez y el método de desplazamiento, incluso en casos especiales se puede aplicar el método de análisis de desplazamiento o mejor conocido como el método de desplazamiento.

MÉTODO DE RIGIDEZ

Este método se usa tanto para analizar estructuras estáticamente determinadas como indeterminadas. A través del método de rigidez se obtienen desplazamientos y las fuerzas de forma directa, esto nos ayuda a formular las matrices necesarias para realizar operaciones en computadora, ya que los cálculos en este medio se pueden realizar de modo eficiente.

MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ARMADURA

Es de suma importancia obtener las matrices de rigidez de los elementos en coordenadas globales, para ensamblarlas en el orden correcto para determinar la matriz de rigidez **K** de la armadura que será analizada.

RESULTADOS

Entre los resultados se reportó que, entre los métodos matriciales existentes para desarrollar un análisis matricial de una armadura, el método de rigidez es uno que nos permite desarrollar los cálculos necesarios y de manera eficiente a través de un medio informático.

ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS

IDENTIFICACIÓN

DIAZ, E. B, RUIZ, M. C, & ARROYO, B. S. (2015). ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. Barcelona, España: CIMNE, pp.53-66.

OBJETIVO

Profundizar los conceptos y aplicaciones que desarrolla una matriz de rigidez en un análisis estructural.

MATRIZ GLOBAL DE RIGIDEZ

Una vez calculadas las ecuaciones elásticas de todas las piezas que forman la estructura en un sistema de referencia común, el siguiente paso en el método de rigidez es la construcción de la matriz global de rigidez de la estructura. Esta matriz global se obtiene mediante el ensamblaje de las matrices elementales de rigidez de las piezas.

ENSAMBLAJE DE MATRICES

Dicho ensamblaje se lo realiza para conseguir la matriz global de rigidez, ensamblando las matrices elementales de rigidez. Se considera el equilibrio de fuerzas (y momentos, en su caso) que actúan sobre cada nudo de la estructura; de ahí el nombre de método de equilibrio con el que también se denomina al presente método de cálculo.

GRADOS DE LIBERTAD

Según la fuente, el concepto de grados de libertad se puede entender desde un punto de vista geométrico, algebraico e incluso intuitivo. La geometría nos describe a los grados de libertad como espacios de libertad a través de los cuales una medida de resumen puede moverse y tomar diferentes valores.

RESULTADOS

Se propone realizar un desarrollo con exactitud en el cálculo de las matrices elementales de rigidez antes de realizar el ensamblaje para conseguir la matriz global de rigidez.

ANÁLISIS DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN

BARTALOMÉ, A. S. (1998). *ANÁLISIS DE EDIFICIOS* (Ed. rev.). Perú, Lima: Fondo Editorial de la Universidad de la Pontificia de Perú.

OBJETIVO

Efectuar una introducción al análisis matricial de estructuras, así como que el lector tenga una idea básica de cómo trabajan los programas de cómputo de análisis estructural, incluyendo los más sofisticados como son los de Elementos Finitos.

SISTEMA GLOBALES (X, Y, Z)

Una estructura generalmente está definida por un sistema global donde todos sus nudos pueden moverse positivamente en el sentido X, Y, Z, incluso los apoyos, para después imponerles condiciones de restricción.

En la figura que se muestra a continuación se aprecia que, en cada uno de los nudos, un pórtico plano tiene 3 grados de libertad (GL), mientras que una armadura plana tiene 2 grados de libertad. La numeración asignada a los grados de libertad está relacionada con la numeración que tienen los nudos, los cuales deben tener una numeración creciente y correlativa (desde 1 hasta n). De esta manera, si se conoce a que nudos concurre una barra i-j, se podrá identificar los GL en sus extremos.

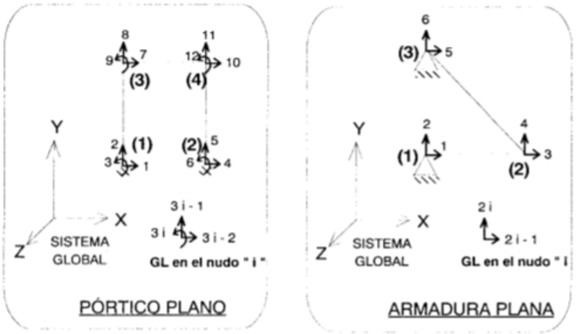


Imagen 1:Grados de libertad de un pórtico plano y de una armadura plana.

CARGAS NODALES (Q)

El método Directo de Rigidez hace uso de cargas aplicadas sobre los nudos de la estructura (Q) dichas cargas son positivas si siguen el sentido positivo de las coordenadas globales.

De esta manera, si existiesen cargas actuantes sobre las barras, debe aplicarse el principio de superposición, desdoblando a la estructura original en la suma de dos estados, los cuales son:

- **Estado Primario:** En este estado se aplica todas las solicitaciones externas y se restringe todos los grados de libertad, mediante apoyos simples y conexiones de empotramiento. El cálculo de las reacciones en el Estado Primario se realizará fijando los extremos de cada barra y aplicando sobre ella las solicitaciones respectivas, esto dará lugar a las acciones de empotramiento en cada barra; luego, efectuando el equilibrio de cada nudo en el sistema global de referencia, se determinan las reacciones.

  Como esas reacciones son ficticias (no existen en la estructura original), deberán eliminarse aplicando en el Estado Complementario un sistema de fuerzas en sentido contrario, la que dará lugar al Vector de Cargas Nodales (Q).
- **Estado Complementario:** En este estado se aplica el vector de cargas nodales (Q) y se liberan los grados de libertad; éste estado es el que se resuelve mediante el Método Directo de Rigidez.

RESULTADOS

Entre los resultados se obtiene, que para desarrollar un análisis matricial complejo aplicado a los programas de cómputo, se debe desarrollar de manera perfecta el calculo de las cargas nodales **(Q)** a través del estado primario y complementario.

TEMA: DISEÑO DE ARMADURAS PLANAS MEDIANTE ANÁLISIS MATRICIAL (MÉTODO DE LA RIGIDEZ).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar y diseñar una celosía sometida a cargas estáticas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una hoja de cálculo que permita analizar reticulados planos con cargas aplicadas en los nodos.
- Proponer y optimizar diseños de celosías que permitan salvar luces y cargas determinadas.
- Establecer y calcular valores de optimización que permitan identificar tipos de celosía óptimos.

INTRODUCCIÓN

Para salvar una luz de 20 m se diseñó 3 tipos de celosías (Pratt, Warren, Howe), la carga que será aplicada será de 400 kg/m, uniformemente repartida en toda la longitud de la celosía. El material que se utilizará será acero estructural A36 (Fy = 2500 kg/cm2, E = 2x106 kg/cm2) y la tipología se basara en perfiles estructurales que serán escogidos de acuerdo con el diseño.

El método de cálculo a utilizar será el de análisis matricial, considerando la celosía como un reticulado plano con dos grados de libertad por nodo. Con el fin de lograr un diseño adecuado se emplearon los cálculos a través del software Matlab.

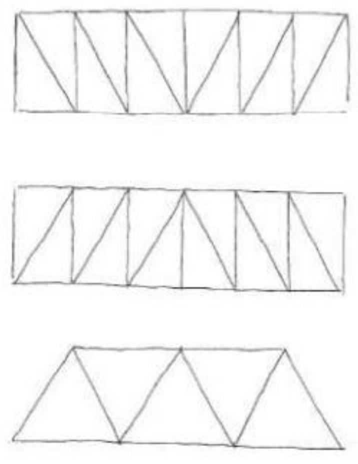


Ilustración 1 (Celosía tipo Pratt, Howe, Warren)

PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA CELOSÍA

Se eligieron tres tipos de celosías: Warren, Pratt y Howe. En la cual se determinaron diferentes perfiles estructurales de acuerdo con el diseño de las diferentes celosías.

La altura definida en la celosía se determinó con el fundamento de la luz divido para 12:

L/12, como tenemos una luz de 20 metros obtenemos una altura para la celosía de 1.67 m por facilidad de construcción tomamos el valor de 2 metros.

TIPO DE CELOSIA	**PERFIL**	**ÁREA (cm2)**	**DIMENSIONES**				**Ix (cm4)**	**Iy (cm4)**
			h(mm)	**b(mm)**	**t(mm)**	**e(mm)**		
Howe	Correa Tipo "G"	9,31	200	50	15	3	122,5	24,85
	Tubo Estructural Cuadrado	7,74	100	100	-	2	122,9	24,65
Pratt	Correa Tipo "G"	8,15	100	50	15	4	122,5	24,85
	Tubo Estructural Cuadrado	7,74	100	100	-	2	122,9	24,65
Warren	Correa Tipo "G"	15,86	150	75	15	5	545,4	117,2
	Tubo Estructural Cuadrado	3,74	50	50	-	2	71,54	19,08

El trazado de la triangulación depende del ángulo pues cuanto mayor es este los nudos están más juntos y la suma de las longitudes de las barras es mayor. Existen trazados óptimos y razonables que son los siguientes:

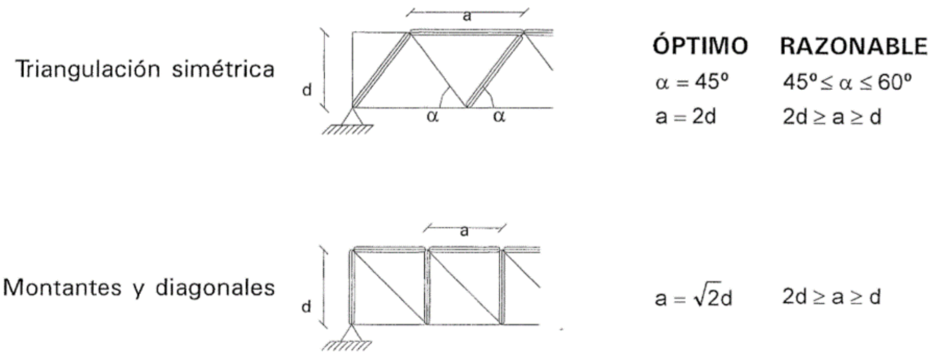


Ilustración 2: Trazado de triangulación para estructuras.

ESFUERZO MÁXIMOS Y RATIO

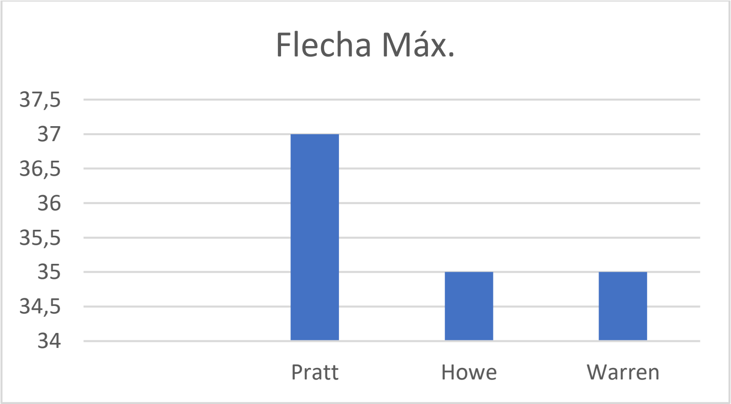
En la siguiente tabla podemos ver los esfuerzos máximos encontrados en las celosías y la relación entre el esfuerzo aplicado y admisible:

Estrucutra	Esfuerzo Máximo	%	Esfuerzo Mínimo	%
Pratt	883	35,32%	45	1,80%
Howe	1872	74,88%	32	1,28%
Warren	1037	41,48%	24	0,96%

DEFORMACIONES MÁXIMAS

Para la demostración de la deformada máxima en las celosías propuestas se presenta la siguiente gráfica:

Estrucutra	Flecha Máx.
Pratt	37
Howe	35
Warren	35



CANTIDAD DE ACERO Y COSTOS

NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS	
CELOSIA TIPO WARREN	24
CELOSIA TIPO HOWE	41
CELOSIA TIPO PRATT	37

- **CANTIDAD DE ACERO**

CELOSIA TIPO HOWE					
PERFIL	**N° ELEMENTOS**	**PESO x (m)**	**L parcial (m)**	**L (m)**	**PESO (Kg)**
Correa Tipo "G"	20	6,29	2	40	251,6
Tubo Cuadrado	11	6,17	2	22	135,74
Tubo Cuadrado	10	6,17	4	40	246,8
∑	41			**PESO T.**	634,14

CELOSIA TIPO PRATT					
PERFIL	**N° ELEMENTOS**	**PESO x (m)**	**L parcial (m)**	**L (m)**	**PESO (Kg)**
Correa Tipo "G"	18	7,25	2	36	261
Tubo Cuadrado	9	6,17	2	18	111,06
Tubo Cuadrado	10	6,17	4	40	246,8
∑	37			**PESO T.**	618,86

CELOSIA TIPO WARREN					
PERFIL	**N° ELEMENTOS**	**PESO x (m)**	**L parcial (m)**	**L (m)**	**PESO (Kg)**
Correa Tipo "G"	12	12,28	2	24	294,72
Tubo Cuadrado	2	6,71	2	4	26,84
Tubo Cuadrado	10	6,71	4	40	268,4
∑	24			**PESO T.**	589,96

- **COSTOS**

CELOSIA	PERFIL	L (m)	Elementos	Precio ($)	Presupuesto ($)
HOWE	Correa Tipo "G"	40	7	$28,64	$200,48
	Tubo Cuadrado	22	11	$25,42	$279,62
	Tubo Cuadrado	40	10	$25,42	$254,20
				∑	$734,30

CELOSIA	PERFIL	L (m)	Elementos	Precio ($)	Presupuesto ($)
PRATT	Correa Tipo "G"	36	6	$35,70	$214,20
	Tubo Cuadrado	18	9	$24,55	$220,95
	Tubo Cuadrado	40	10	$24,55	$245,50
				∑	$680,65

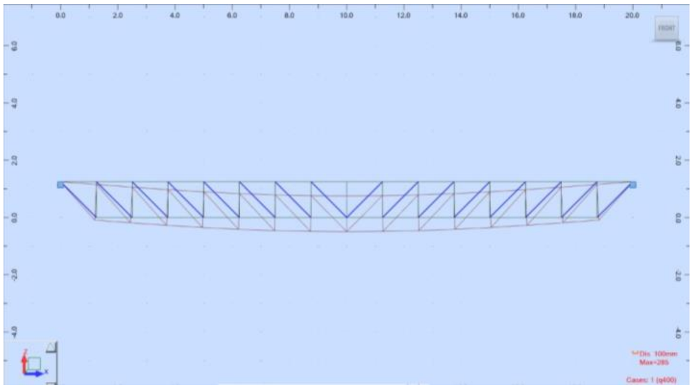
CELOSIA	PERFIL	L (m)	Elementos	Precio ($)	Presupuesto ($)
WARREN	Correa Tipo "G"	24	4	$36,18	$144,72
	Tubo Cuadrado	4	2	$25,42	$50,84
	Tubo Cuadrado	40	10	$22,20	$222,00
				∑	$417,56

Conclusiones

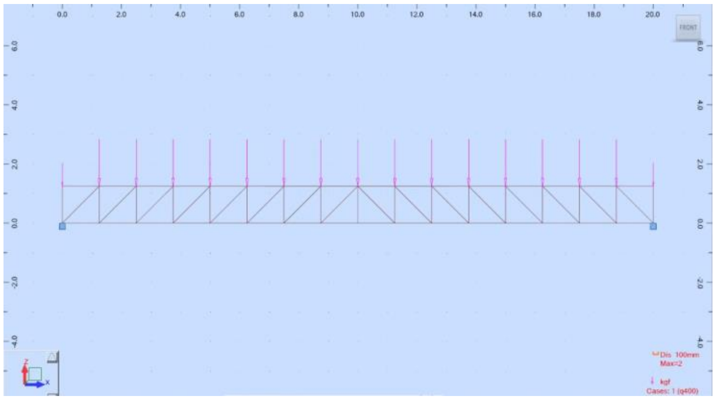
Luego de realizar el presente análisis estructural se aportaron las siguientes conclusiones:

- Para el diseño de armaduras planas al tan solo tomar dos grados de libertad la forma de las secciones no afecta de ninguna manera el análisis estructural.
- El área de los elementos que conforman las celosías es de gran importancia al momento de definir los esfuerzos máximos y admisibles.
- Al sobredimensionar las estructuras se obtienen esfuerzos mínimos que tienden a 0. No justificándose el gran incremento en el precio.
- En cuanto a presupuesto se trata la celosía tipo Warren es la mejor, sin embargo, se puede observar en los resultados (Gráfica 1) que es la menos adecuada para soportar la carga en cuanto a la deformación se trata.
- Para el diseño se puede usar elementos esbeltos que funcionen a tensión.

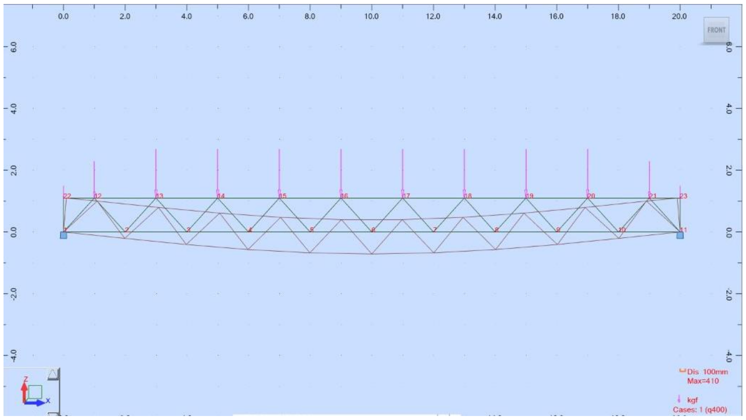
ANEXOS



Anexo 1 Deformación de elementos (Autodesk Robot Structural 2020)



Anexo 2 Deformación de elementos (Autodesk Robot Structural)



Anexo 3 Deformación de elementos (Autodesk Robot Structural)